

全国统一编写

进网作业电工培训教材

下 册

中华人民共和国能源部

辽宁科学技术出版社

目 录

第 7 章 无功功率补偿和并联电容

7.1 概 述	1
7.1.1 无功功率和提高功率因素的意义	1
7.1.2 无功功率补偿及其方法	2
7.2 并联电容器补偿无功功率的作用及其方式	2
7.2.1 并联电容器提高功率因素的原理	2
7.2.2 并联电容器在电力系统中的作用	3
7.2.3 并联电容器在电力系统中的补偿方式	4
7.3 并联电容器的结构特点	5
7.3.1 并联电容器的结构特点	5
7.3.2 聚丙烯金属膜并联电容器	5
7.3.3 并联电容器的铭牌	7
7.4 并联电容器技术数据的计算	8
7.4.1 额定容量与电容量计算公式	8
7.4.2 并联电容器电流的计算	8
7.4.3 电容器容量的选择	9
7.5 电容器组的保护	12
7.5.1 电容器单台熔丝保护	12
7.5.2 过电流保护	13
7.5.3 过电压保护	13
7.5.4 低电压保护	13
7.5.5 不平衡电压保护	13
7.5.6 不平衡电流保护	14
7.5.7 差动电流保护	15
7.6 电容器放电装置	15
7.6.1 专用放电装置	15
7.6.2 兼用放电线圈	15
7.6.3 放电电阻	16
7.7 电容器组的控制	16
7.7.1 电容器组控制开关	16
7.7.2 电容器组串联电抗器	17

7.8 并联电容器的安装及电容成套装置	21
7.8.1 并联电容器的安装条件和要求.....	21
7.8.2 电容器成套装置.....	22
7.9 电容器的维护和运行	27
7.9.1 电容器组的运行标准.....	27
7.9.2 电容器组的操作.....	27
7.9.3 电容器组投入和退出运行.....	28
7.9.4 新装并联电容器组投入运行前的检查.....	28
7.9.5 对运行中的并联电容器组的检查.....	28
7.9.6 并联电容器的故障判断及处理.....	29
第7章复习思考题	30

第8章 电气线路

8.1 架空电力线路	31
8.1.1 概述.....	31
8.1.2 架空线路的结构.....	31
8.1.3 杆顶组装.....	52
8.1.4 接户线.....	65
8.1.5 架空线路的架设.....	67
8.1.6 变压器台.....	82
8.1.7 架空线路常用电气设备.....	82
8.1.8 架空线路的运行与故障.....	88
8.2 室内线路	92
8.2.1 概述.....	92
8.2.2 敷设方式和要求.....	93
8.2.3 照明及照明器具	108
8.3 电力电缆	117
8.3.1 概述	117
8.3.2 电力电缆的种类及结构特点	118
8.3.3 电缆的载流能力及温升	123
8.3.4 电缆的施工工艺要求	127
8.3.5 电缆的运行	146
8.3.6 电缆的试验	148
第8章复习思考题	157

第9章 变配电所的二次系统

9.1 概述	159
9.2 二次回路	159

9.2.1	二次回路接线图	160
9.2.2	二次回路编号与设备标志	161
9.3	信号装置	166
9.3.1	事故信号装置	167
9.3.2	预告信号装置	169
9.4	继电保护	172
9.4.1	概述	172
9.4.2	常用继电器	173
9.4.3	中小型变电所常见的继电保护装置	190
9.4.4	电力线路的保护	193
9.4.5	电力变压器保护	202
9.4.6	高压电动机保护	210
9.4.7	电力电容器保护	215
9.4.8	小水电小火电的继电保护	217
9.4.9	自动重合闸装置	221
9.4.10	备用电源自动投入装置	223
9.4.11	继电保护的现场校验	224
9.5	变配电站的微机实时监控系统	231
9.6	电气测量与绝缘监察	233
9.6.1	电气测量	233
9.6.2	电能计量	235
9.6.3	交流电网绝缘监察	239
9.6.4	直流电网监察装置	241
9.7	操作电源	243
9.7.1	交流操作电源	244
9.7.2	复式整流操作电源	244
9.7.3	硅整流电容储能直流电源	247
9.7.4	铅酸蓄电池直流电源	249
9.7.5	镉镍蓄电池直流电源	256
第9章	复习思考题	260

第10章 过电压保护

10.1	概述	261
10.2	内部过电压	261
10.2.1	工频过电压	261
10.2.2	操作过电压	262
10.2.3	谐振过电压	263
10.2.4	内部过电压综合分析	265

10.3 外部过电压	266
10.4 防雷设备	268
10.4.1 避雷针	268
10.4.2 避雷线	270
10.4.3 保护间隙	271
10.4.4 阀型避雷器	272
10.4.5 管型避雷器	279
10.4.6 氧化锌避雷器	281
10.5 消谐器	286
10.6 变、配电所的过电压保护	287
10.6.1 变、配电所的直击雷保护	287
10.6.2 变、配电所的进线段防雷保护	289
10.6.3 变、配电所的绝缘配合	290
10.7 旋转电机的过电压保护	291
10.8 10kV 及以下架空线路和变压器的过电压保护	293
10.8.1 3—10kV 架空线路的过电压保护	293
10.8.2 低压 (380/200kV) 架空线路的过电压保护	294
10.8.3 10kV 及以下变压器的过电压保护	295
10.9 过电压保护的技术管理工作	295
第 10 章复习思考题	295

第 11 章 电工仪表

11.1 常用电工仪表的分类、标志和型号	296
11.1.1 电工仪表的分类	296
11.1.2 电工仪表的标志	297
11.1.3 电工仪表的型号	297
11.2 电工仪表的基本原理	299
11.2.1 磁电系仪表	299
11.2.2 电磁系仪表	302
11.2.3 电动系仪表	303
11.2.4 静电系仪表	305
11.3 电工仪表的使用	306
11.3.1 仪表的误差和准确度	306
11.3.2 常用电工仪表的使用	307
11.3.3 测量仪表与互感器的配合	318
11.3.4 电阻的测量	319
11.4 数字仪表和电子仪器	325

11.4.1 数字频率计	326
11.4.2 电缆故障测试仪	327
11.4.3 示波器的使用	332
第 11 章复习思考题	333

第 12 章 电气试验

12.1 概述	335
12.1.1 电气试验的意义及目的	335
12.1.2 电气试验的分类	335
12.1.3 电气试验的技术措施和安全措施	336
12.2 电气设备的基本试验	338
12.2.1 直流电阻测量	338
12.2.2 测量绝缘电阻和吸收比	340
12.2.3 直流泄漏电流及直流耐压试验	344
12.2.4 介质损失的测量	346
12.2.5 工频交流耐压试验	353
12.2.6 预防性试验效果特点分析	359
12.3 电力变压器试验	360
12.3.1 测量绝缘电阻及吸收比	360
12.3.2 测量泄漏电流	362
12.3.3 测量介质损失 ($\text{tg}\delta$)	363
12.3.4 测量直流电阻	364
12.3.5 核定变压器极性和接线组别	365
12.3.6 交流耐压试验	367
12.3.7 绝缘油试验	368
12.4 互感器试验	369
12.4.1 绝缘电阻试验	369
12.4.2 测量直流电阻	370
12.4.3 测量介质损失	370
12.4.4 交流耐压试验	370
12.5 高压断路器试验	370
12.5.1 断路器的绝缘试验	370
12.5.2 测量导电回路直流电阻	373
12.6 电力电缆试验	375
12.6.1 测量绝缘电阻	375
12.6.2 直流耐压试验和泄漏电流的测量	376
12.6.3 检查电力电缆的相位	378
12.6.4 故障探测	378

12.7 并联电容器试验	383
12.7.1 测量绝缘电阻.....	383
12.7.2 测量电容值.....	385
12.8 避雷器试验	387
12.8.1 阀型避雷器的绝缘电阻试验.....	387
12.8.2 阀型避雷器电导电流的测量及串联元件的非线性系数.....	388
12.8.3 阀型避雷器的工频放电电压测量.....	390
12.9 接地装置试验	391
12.9.1 概述.....	391
12.9.2 测量接地电阻的方法.....	391
12.9.3 测量土壤电阻率的方法.....	394
12.10 绝缘油试验	395
12.10.1 概述	395
12.10.2 绝缘油的理化试验	397
12.10.3 绝缘油的电气试验	398
12.11 电气安全用具试验	401
12.11.1 概述	401
12.11.2 绝缘杆试验	401
12.11.3 绝缘手套试验	402
12.11.4 绝缘靴(鞋)试验	402
12.11.5 绝缘台(垫)试验	402
12.11.6 电压指示器(验电器)试验	403
第12章复习思考题	404

第13章 电气安全技术

13.1 概述	405
13.2 触电(电击)及触电防护	405
13.2.1 电流流经人体的效应.....	405
13.2.2 影响触电对人危害程度的因素.....	410
13.2.3 不同情况下的允许电流和安全电压.....	414
13.3 触电防护	416
13.3.1 触电类型.....	416
13.3.2 直接接触防护的基本措施.....	416
13.3.3 间接触电的防护.....	426
13.3.4 有关的基本概念和防触电防护分类.....	441
13.4 电气作业的安全措施	447
13.4.1 停电作业的安全技术措施.....	448

13.4.2	停电作业的安全组织措施	452
13.4.3	对突然来电的防护	456
13.4.4	双电源及自发电用户倒送电的防止措施	457
13.4.5	防止误操作和误触电	467
13.4.6	有关作业中人身伤害事故的防护	476
13.5	漏电电源动作保护器	485
13.5.1	概述	485
13.5.2	漏电保护装置的工作原理	487
13.5.3	漏电电流动作保护器常见型式	490
13.5.4	漏电保护器的应用	492
13.5.5	漏电保护器的安装和运行	497
13.6	电气安全用具	501
13.6.1	概述	501
13.6.2	绝缘安全用具	501
13.6.3	验电器	505
13.6.4	携带型三相短路接地线	507
13.6.5	标示牌	508
13.6.6	高空作业安全用具	509
13.6.7	其他安全用具	511
13.6.8	绝缘安全用具的试验	512
13.6.9	安全用具的使用管理	514
第 13 章	复习思考题	514

13.4.2	停电作业的安全组织措施	452
13.4.3	对突然来电的防护	456
13.4.4	双电源及自发电用户倒送电的防止措施	457
13.4.5	防止误操作和误触电	467
13.4.6	有关作业中人身伤害事故的防护	476
13.5	漏电电源动作保护器	485
13.5.1	概述	485
13.5.2	漏电保护装置的工作原理	487
13.5.3	漏电电流动作保护器常见型式	490
13.5.4	漏电保护器的应用	492
13.5.5	漏电保护器的安装和运行	497
13.6	电气安全用具	501
13.6.1	概述	501
13.6.2	绝缘安全用具	501
13.6.3	验电器	505
13.6.4	携带型三相短路接地线	507
13.6.5	标示牌	508
13.6.6	高空作业安全用具	509
13.6.7	其他安全用具	511
13.6.8	绝缘安全用具的试验	512
13.6.9	安全用具的使用管理	514
第 13 章	复习思考题	514

第7章 无功功率补偿和并联电容

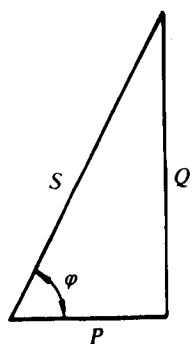
7.1 概述

改善企业用电的功率因数（即无功功率补偿）是企业节约电能的重要课题，因此应给予足够重视，并采取相应的技术措施以提高功率因数。

7.1.1 无功功率和提高功率因数的意义

接在电网中的许多用电设备是根据电磁感应原理工作的。例如，通过磁场，变压器才能改变电压并且将能量送出去，电动机才能转动并带动机械负荷。磁场所具有的磁场能是由电源供给的，电动机和变压器在能量转换过程中建立交变磁场，在一个周期内吸收的功率和释放的功率相等，这种功率叫做感性无功功率。电容器在交流电网中接通时，在一个周期内，上半周期的充电功率和下半周期的放电功率相等，不消耗能量，这种充放电功率叫做容性无功功率。

对感性负荷，有功功率、无功功率和视在功率之间的关系如图 7—1 所示。



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

式中 S ——视在功率，kVA；

P ——有功功率，kW；

Q ——无功功率，kvar。

φ 角为功率因数角，它的余弦 ($\cos\varphi$) 是有功功率与视在功率之比，称为功率因数。即：

图 7—1 功率三角形

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

由功率三角形可以看出，在一定的有功功率下，当用电企业 $\cos\varphi$ 越小，则所需要的无功功率越大，其视在功率也越大。为满足用电的需要，供电线路和变压器的容量也越大。这样，不仅增加供电投资，降低设备利用率，也将增加线路网损，为此，全国供用电规则规定：无功电力应就地平衡，用户应在提高用电自然功率因数的基础上，设计和装置无功补偿设备，并做到随其负荷和电压变动及时投入或切除，防止无功电力倒送。全国供用电规则还规定了在电网高峰负荷时，用户的功率因数应达到的标准：高压供电的工业用户和高压供电装有带负荷调整电压装置的电力用户，功率因数为 0.90 以上；其他 100kVA (kW)

及以上电力用户和大、中型电力排灌站,功率因数为 0.85 以上;农业用电,功率因数为 0.80 以上。凡功率因数不能达到上述规定的新用户,供电部门可拒绝供电。因此对无功功率进行补偿,提高企业用电的功率因数具有重要的意义。

7.1.2 无功功率补偿及其方法

(1) 无功功率补偿的基本概念

无功功率补偿的基本原理是:把具有容性功率负荷的装置与感性功率负荷并联接在同一电路,当容性负荷释放能量时,感性负荷吸收能量;而感性负荷释放能量时,容性负荷却在吸收能量,能量在两种负荷之间互相交换。这样,感性负荷所吸收的无功功率可由容性负荷输出的无功功率中得到补偿,这就是无功功率补偿的基本原理。

(2) 无功功率补偿的方法

无功功率补偿的方法很多,采用电力电容器,或采用具有容性负荷的装置进行补偿。

①利用过激磁的同步电动机,改善用电的功率因数,但设备复杂,造价高,只适于在具有大功率拖动装置时采用。

②利用调相机做无功功率电源,这种装置调整性能好,在电力系统故障情况下,也能维持系统电压水平,可提高电力系统运行的稳定性,但造价高,投资大,损耗也较高。每 kvar 无功的损耗约为 1.8—5.5%,运行维护技术较复杂,宜装设在电力系统的中枢变电所,一般用户很少应用。

③异步电动机同步化。这种方法有一定的效果,但自身损耗大,每 kvar 无功功率的损耗约为 4—19%,一般都不采用。

④电力电容器作为补偿装置,具有安装方便、建设周期短、造价低、运行维护简便、自身损耗小(每 kvar 功率损耗约为 0.3—0.4%以下)等优点,是当前国内外广泛采用的补偿方法。这种方法的缺点是电力电容器使用寿命较短;无功出力与运行电压平方成正比,当电力系统运行电压降低,补偿效果降低,而运行电压升高时,对用电设备过补偿,使其端电压过分提高,甚至超出标准规定,容易损坏设备绝缘,造成设备事故,弥补这一缺点应采取相应措施以防止向电力系统倒送无功功率。

电力电容器作为补偿装置有两种方法:串联补偿和并联补偿。

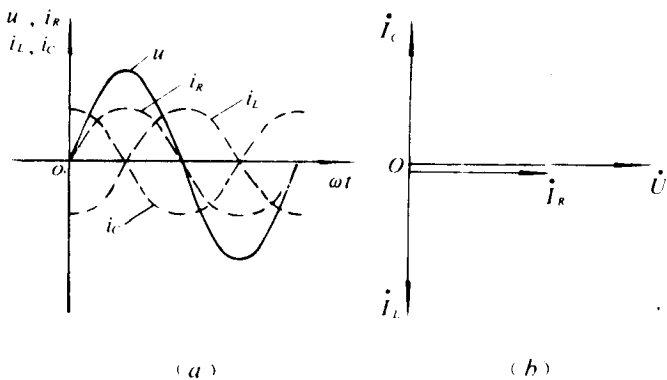
a. 串联补偿是把电容器直接串联到高压输电线路,以改善输电线路参数,降低电压损失,提高其输送能力,降低线路损耗。这种补偿方法的电容器称作串联电容器,应用于高压远距离输电线路,用电单位很少采用。

b. 并联补偿是把电容器直接与补偿设备并接到同一电路上,以提高功率因数。这种补偿方法所用的电容器称作并联电容器,用电企业都是采用这种补偿方法。

7.2 并联电容器补偿无功功率的作用及其方式

7.2.1 并联电容器提高功率因数的原理

在交流电路中,纯电阻电路,负载中的电流 I_R 与电压 U 同相位,纯电感负载中的电流 I_L 滞后电压 90° 。而纯电容的电流 I_C 则超前于电压 90° ,如图 7—2 所示。可见,电容中的电流与电感中的电流相差 180° ,它们能够互相抵消。



(a) 曲线图; (b) 向量图

图 7-2 电容补偿电压电流相位关系图

电力系统中的负载, 大部分是感性的。因此总电流 I 将滞后于电压一个角度 φ 。如果将并联电容器与负载并联 (补偿原理如图 7-3 所示), 则电容器的电流 I_C 将抵消一部分电感电流, 从而使电感电流 I_L 减小到 I_L' , 总电流从 I 减小到 I' , 功率因数将由 $\cos\varphi_1$ 提高到 $\cos\varphi'$, 这就是并联补偿的原理。

7.2.2 并联电容器在电力系统中的作用

采用并联补偿电容器进行无功补偿主要作用是:

- (1) 补偿无功功率, 提高功率因数
- (2) 提高设备出力

由于有功功率 $P = S \cdot \cos\varphi$, 当设备的表观 (视在) 功率 S 一定时, 如果功率因数 $\cos\varphi$ 提高, 上式中的 P 也随之增大, 电气设备的有功出力也就提高了。

- (3) 降低功率损耗和电能损失

在三相交流电路中, 功率损耗 ΔP 的计算公式如下:

$$\Delta P = 3 \frac{P^2 R}{U^2 (\cos\varphi)^2} \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

由式可见, 当功率因数提高后, 将使功率损失大大下降。因此使得每年在线路上和变压器中的电能损失下降。

- (4) 改善电压质量

在线路中电压损失 ΔU 的计算式如下:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + QX_L}{U} \times 10^{-3}$$

(a) 电路图; (b) 欠补偿向量图

图 7-3 电容补偿电路原理图

式中 ΔU ——线路中的电压损失, kV;

P ——有功功率, MW;

Q ——无功功率, Mvar;

U ——额定电压, kV;

R ——线路的总电阻, Ω ;

X_L ——线路感抗, Ω 。

由上式可见, 当线路中的无功功率 Q 减少以后, 电压损失 ΔU 也就减小了。

7.2.3 并联电容器在电力系统中的补偿方式

(1) 并联电容器与电力网的联接

并联电容器与电力网的联接, 额定电压应相符。在三相供电系统中单相电容器的额定电压与电力网的额定电压相同时, 电容器应采用三角形接法, 如果按星形接法联接则每相

电压是线电压的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍, 又因 $Q = \frac{U^2}{X_c}$, 所以无功出力减小为三角形接法时的 $\frac{1}{3}$ 倍, 显然是不合理的。当单相电容器的额定电压较线路的额定电压低时, 应采用星形联接或几个电容器串联以后接成三角形。而三相电容器只要其额定电压等于或高于电网的额定电压即可直接接入使用。

(2) 并联电容器的补偿

电容器的补偿形式, 应以无功就地平衡为原则。电网的无功负荷主要是由用电设备和输变电设备引起的。除了比较密集的供电负荷中心集中装设大、中型电容器组, 便于中心电网的电压控制和稳定电网的电压质量之外, 还应在距用电无功负荷较近的地点装设中、小型电容器组进行就地补偿。

安装电容器进行无功功率补偿时, 可采取集中、分散或个别补偿三种形式。

1) 个别补偿

个别补偿是对单台用电设备所需无功就近补偿的办法, 把电容器直接接到单台用电设备的同一个电气回路, 用同一台开关控制, 同时投运或断开。这种补偿方法的效果最好, 电容器靠近用电设备, 就地平衡无功电流, 可避免无负荷时的过补偿, 使电压质量得到保证, 如图 7-4 所示。个别补偿一般常用于容量较大的高低压电动机等用电设备。但这种方法在用电设备非连续运转时, 电容器利用率低, 不能充分发挥其补偿效益。

2) 分散补偿

分散补偿是将电容器组分组安装在车间配电室或变电所各分路的出线上, 它可与工厂部分负荷的变动同时投入或

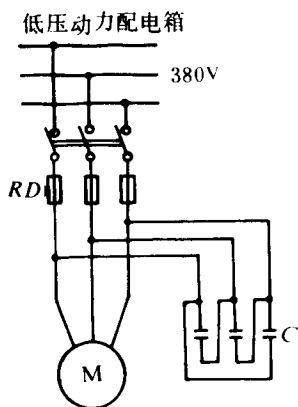


图 7-4 电容器个别补偿接线

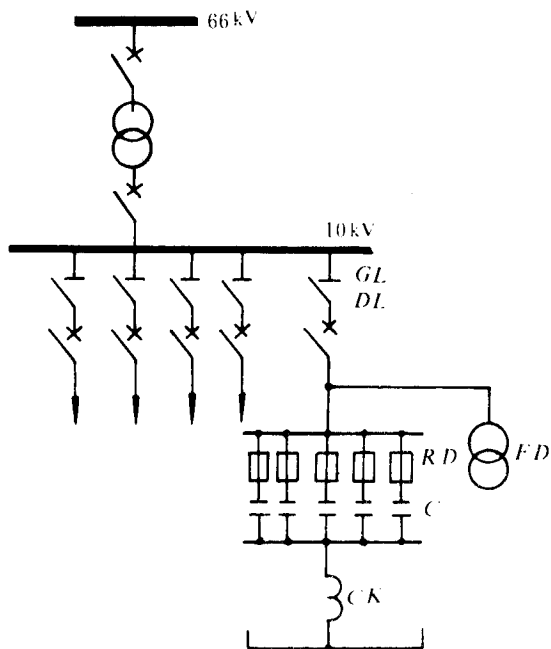


图 7-5 电容器集中补偿接线

切除。这种补偿方法效果也较好。

3) 集中补偿

集中补偿是把电容器组集中安装在变电所的一次或二次侧的母线上,如图 7—5 所示。

这种补偿方法,安装简便,运行可靠,利用率较高;但当电气设备不连续运转或轻负荷时,又无自动控制装置,会造成过补偿,使运行电压抬高,电压质量变坏。电容器就地补偿的无功功率称为释放功率,其大小与初始功率因数和电容器的安装容量及其安装位置有关。当电容器接到变压器的一次侧时,可使线路损耗降低,变电所一次母线电压升高,而对变压器没有补偿作用;此外变压器一次侧电压高,安装费高,因此尽量不把电容器安装在变压器的一次侧。当电容器安装在变压器的二次侧时,能产生释放功率使变压器相应增加出力,并使二次侧电压有较大幅度的提高,效果显著,同时二次侧电压低,安装费降低,因此把电容器尽量安装在变压器的二次侧。

7.3 并联电容器的结构特点

7.3.1 并联电容器的结构特点

Y 系列(老型号)的电容器其结构如图 7—6 所示。

并联电容器的钢质外壳内,装有电容元件,这些电容元件是由薄铝箔作为两极,中间隔以极薄的固体介质(包含电容器纸)卷绕成单元的电容元件,为提高电容量,可将若干电容元件并联为一单元。高压电容器芯子的电容元件接成串联。低压电容器芯子的元件采用并联,按其容量与电压等级组合成所需规格的并联电容器。其内部可根据需要接成单相或三相。

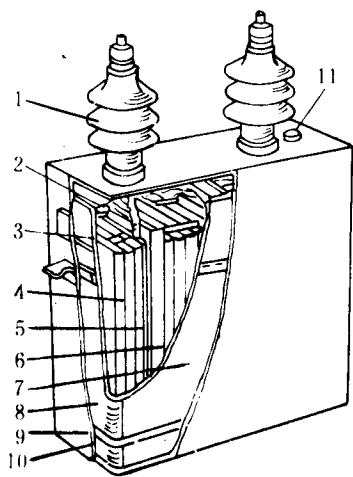


图 7—6 并联电容器的构造

1—出线套管; 2—出线连接片; 3—连接片; 4—元件; 5—出线连接片固定板; 6—组间绝缘; 7—包封件; 8—夹板; 9—紧箍; 10—外壳; 11—封口盖

油浸纸绝缘介质并联电容器由于其生产工艺问题,内部局部放电致使元件短路故障时有发生,内部过热、油箱膨胀现象普遍存在,由此还可能导致油箱爆炸;这种并联电容器的油箱是钢板焊接结构,渗漏油现象比较严重,油箱的渗漏油不仅危及到运行安全,还增加了维护的工作量;另外,油浸纸绝缘介质并联电容器材料消耗多,成本高。因此在低压配电系统,应多选用聚丙烯金属膜并联电容器。

7.3.2 聚丙烯金属膜并联电容器

近年来,由于制造聚丙烯金属膜并联低压电力电容器(以下简称自愈式电容器)的工艺技术趋向成熟与完善,国内许多厂矿开始采用,并将逐步更换与取代油浸

纸介电容器。自愈式电容器的各项电性能及比特性大大优于油浸纸介电力电容器,是一很有发展前途的电力行业上节能产品。

自愈式电容器的最大特点是:应用具有自愈性能的聚丙烯金属化膜作为电容器元件的

介质与极板。

聚丙烯薄膜具有高工作场强与低介质损耗及体积小、容量大、损耗小等特点。从表 7—1 的几项性能比较我们可以看出自愈式电容器具有油浸纸介电容器所不及的优点。

表 7—1 自愈式电容器与油浸纸介质式电容器性能比较表

项 目	单 位	自愈式电容器	油浸纸介电容器
tgδ	%	0.05—0.08	0.3—0.4
温 升	℃	5—8	20
工作场强	kV/mm	300	14
比特性	kA/kvar	0.3—0.4	1.7—2.1
价格比	元/kvar	20—24	30—32

以国产低压自愈式并联电力电容器为例，扼要介绍自愈式金属化膜电容器的结构原理及应用：

(1) 结构原理

自愈式电容器主要由芯子、浸渍剂、端子、壳体、保险器、自放电装置安装架等几个主要部分组成。

①芯子。芯子是电容器的基本工作单元，由聚丙烯金属化膜绕制而成，两端面的金属层通过喷金连接成电极，每台电容器由若干只芯子根据要求进行组合连接，对于三相低压并联电容器，一般以△形接法。

自愈式电容器的自愈功能就是利用金属化膜的特殊性能，金属化聚丙烯膜是利用高真空蒸镀技术在聚丙烯基膜表面蒸镀一层铝、锌或锌+铝等金属薄层，其厚度极薄，仅 0.03—0.04μm，这层金属层在一定的温度下极易气化挥发，当我们施加于该电容器两极板一定电压后，介质中的某些电弱点被击穿，由于击穿电弱点时释放一定的能量，使得电弱点周围的金属层受热而气化挥发，电弱点附近由于失去金属层而形成绝缘区，使电容器自行恢复正常工作，这样每通过一次自愈作用，电容器就剔除一批电弱点，使得电容器的耐压也就提高一个等级。

金属化层的厚薄，直接影响电容器的自愈性能。一般讲，较薄的金属化层对自愈有利，但与喷金层的结合脆弱。要求金属化膜既要有良好的自愈性能，又要有足够金属化厚度以提高喷金强度。目前国外生产一种边缘加厚金属化膜，这种膜具有上述的两大优点。自愈式电容器，就是选用具有边缘加厚金属化膜绕制芯子，经实践证明，其工作可靠性高，自愈性好，经得起浪涌电流的冲击，工作寿命长。

②浸渍剂。浸渍剂是电容器内部的充填物，与油浸纸介电容器不同的是，纸介电容器中的浸渍剂，直接浸入介质中间，而自愈式电容器由于膜的工作场强高，可以不必像纸一样靠浸渍剂来提高工作场强与降低损耗。这里的浸渍剂其主要作用是解决芯子外表面的局部放电与提高电容器的自愈性能，及改善散热条件。

自愈式电容器选用一定配比的油蜡作为浸渍剂，通过真空浸渍，将浸渍剂灌注壳内，通过浸渍可以有效地解决芯子边缘的局部放电，并且由于固化后的微晶蜡在芯子外部形成一强大的应力区，当元件自愈时由于存在一定的应力，可以迫使迅速灭弧，防止蒸发区扩大与自愈恶化，而导致元件“打炮”，这类浸渍剂与液体浸渍剂相比，性能稳定，不燃烧，并有效地解决漏油问题。

③保险装置。当自愈式电容器万一由于自愈失效，内部的金属化膜受热软化并放气而

使电容器胀鼓时，保险装置能及时切断电源保护整个装置。保险装置的种类较多，有力学型和电学型等，结构上也各有千秋。本保险装置集力与电气保险为一体，具有双重功能，放置于电容器壳体内部，利用外壳的形变来启动保险机构，切断电源，万一保险失控，电气保险也立即启动，同样切断电源，从而保护整个装置。

④自放电装置。放电装置能将电容器在退出运行初始峰值电压在 3min 内降到 50V 以下，以保证运行及维修安全。

⑤电容器外壳，由马口铁冲制，耐腐蚀性好，外涂阻燃漆，外形美观。端子与上盖采用整体压铸，耐压强度可高达 3500V，且密封性能好，长期在 -45°C — $+50^{\circ}\text{C}$ 环境中使用不会开裂，绝缘性能稳定。

⑥其它。如接线柱头，安装支架等系电容器上的电气接头及安装紧固件。

(2) 使用要点

①自愈式电容器的额定电压必须与本地区电网电压相符，对于某些电网电压过高或者有谐波电压存在，在配置自愈式电容器时，应采取措施给予避免与隔离（对于高次谐波的危害往往被人忽视，其中 3、5、7 次谐波能量最大，危害最强）。

②注意运行环境温度。由于过高的运行温度会导致金属化膜的电化学反应加剧，影响自愈时的热量消散，使使用寿命缩短与自愈失败。安装电容器时应避开热源，改善散热及通风环境。

③电容柜应设有合理的保护装置，调整合适的延时及放电时间，投入与切除电容器组要配有限流及放电装置，投切程序应遵守先投先切，后投后切的原则，为防止频繁地投切。电容组在切除时必须保留足够容量，作为基数组，同时为防止新投入的电容器受到旁侧先投入电容对其放电（由于电容器内阻小，则浪涌电流可能高达上万安培），应设置限流保护装置。

自愈式并联电容器在国内发展时间不长，但从它的节能效果及技术的先进性来看，足以显示它的强大生命力，国外有资料介绍，它的理论寿命可以达上百年之久。但由于在使用中经验不足，如对电网谐波成分没有加以限制或消除的措施，而导致电容器的损坏等。因此，需要在使用中不断积累运行经验使聚丙烯金属化膜并联电容器扩大使用。

7.3.3 并联电容器的铭牌

并联电容器的铭牌包含有：型号、电容值、额定频率及内部接线等。

并联电容器的型号由文字和数字部分组成，如下排列方式：

文 字 数 1—数 2—数 3—文 1 文 2

型号含义说明如下：

第一位文字，说明电容器的特征，如：Y—移相（旧型号）；B—并联（新型号）；C—串联补偿。

第二位文字，说明液体介质材料种类，如：Y—矿物油；W—十二烷基苯；F—二芳基乙烷；G—苯甲基硅油；C—蓖麻油。

第三位文字，说明固体介质材料种类，如：F—纸、薄膜复合介质；M—全聚丙烯薄膜；无标记—全电容器纸。

文字后面的数 1，表示额定电压，单位 kV；横线后面数 2，表示单台容量，单位 kvar，数 3 表示相别，如 3 表示三相，1 表示单相。后面文 1 如有文字 W—户外型；无标记—户内；

文 2 有文字 R—内有熔丝；TH—湿热型。

例如 YY0.4—12—3，表示矿物油浸渍的移相电容器（旧型号），额定电压 0.4kV，单台容量 12kvar，三相，户内型。BW0.4—12—3TH，为十二烷基苯浸渍的并联电容器，额定电压 0.4kV 单台容量 12kvar，湿热型。BWF10.5—25—1W，为复合介质，十二烷基苯浸渍的并联电容器，额定电压 10.5kV，单台容量 25kvar，单相户外型并联电容器。

7.4 并联电容器技术数据的计算

7.4.1 额定容量与电容量计算公式

$$C = \frac{Q \times 10^3}{314U^2} \quad (\mu\text{F}) \quad (7-1)$$

式中 Q ——电容器的额定容量，kvar；

C ——电容器的电容量， μF ；

U ——电容器的额定电压，kV。

7.4.2 并联电容器电流的计算

(1) 按标称容量和额定电压计算电流

$$\text{单相} \quad I_c = \frac{Q}{U} \quad (\text{A}) \quad (7-2)$$

$$\text{三相} \quad I_c = \frac{Q}{\sqrt{3}U} \quad (\text{A}) \quad (7-3)$$

式中 I_c ——电容器额定电流，A；

Q ——电容器标称容量，kvar；

U ——电容器额定电压，kV。

(2) 按电容器的实际电容值和额定电压计算电流（ f 为工频 50Hz）

$$\text{单相} \quad I_c = 0.314CU \quad (7-4)$$

$$\text{三相} \quad I_c = \frac{0.314CU}{\sqrt{3}} \quad (7-5)$$

式中 I_c ——电容器的实际电流值，A；

C ——电容器的实际电容值， μF ；

U ——额定电压，kV。

一般来讲，按第 2 种方法计算，更接近于实际情况。

(3) 由单台电容器组成的三相电容器组的电流计算

Y 形接线的电容器组，线电流与相电流相等，线电压等于 $\sqrt{3}$ 倍的相电压

$$I_c = I_{xg} = \frac{Q_c}{\sqrt{3}U} \quad (\text{A}) \quad (7-6)$$

Δ 形接线的电容器组，线电流等于相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，线电压等于相电压

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3}U_x} \quad (\text{A}) \quad (7-7)$$

式中 Q_c ——电容器组三相总容量，kvar；